

短期集合预报技术在梅雨降水预报中的试验研究*

王晨稀 端义宏

(上海台风研究所, 上海 200030)

摘 要

数值预报的误差来源于初始场和模式的误差,集合预报技术是减小这些误差的有效方法。该文以 MM5 模式作为试验模式框架,模式的积云参数化方案分别取 Anthes-Kuo、Grell、Kain-Fritsch 和 Betts-Miller 方案,边界层参数化方案分别取 MRF 和 Eta 方案,通过组合 4 种积云参数化方案和两种边界层参数化方案产生 8 个集合成员,对 1999 年华东地区梅雨期间 3 个降水个例进行 48 h 集合预报试验。结果显示不同集合成员的预报结果各不相同,积云参数化方案对降水的影响比边界层参数化方案对降水的影响大;不同集合成员预报降水的偏差也各不相同,大多存在湿偏差,量级小的降水的湿偏差程度比量级大的降水的湿偏差程度小;对于不同个例,各成员中预报效果相对较好的成员是不同的,集合平均后可以得到一个比较稳定的预报结果;从集合预报结果中还能得到客观化和量化的降水概率预报,它能对可能发生的天气现象发出信号。

关键词: 集合预报 梅雨 降水

引 言

数值预报的准确性取决于初始场和模式的准确性。由于数值预报所需的大气初始状态只能近似地确定,数值模式本身也存在误差,而大气又是一个非线性动力系统,具有随机性,因此数值预报的误差不可避免地存在,而且会随着时间的延伸迅速增长。为减小初始场和预报模式误差对预报结果的影响,集合预报技术被引入到数值预报中。

短期集合预报的研究起步于 1994 年 Brooks 等人的工作。研究主要集中在对强降水和强烈天气事件的预报,也有对温度、相对湿度、位势高度、风等气象要素及气旋位置的预报。

Brooks 等^[1,2]用美国国家环境预报中心的分辨率为 80 km 的 Eta 中尺度模式通过集合预报的方法预报一次强雷暴过程,集合预报成员一部分通过不同的分析场积分产生,一部分通过采用增长模培育法构造初始场扰动积分产生,后来将环境预报中心区域谱模式的预报结果也作为集合预报成员。Hamill 和 Colucci^[3,4]详细分析了该集合预报中的降水预报,发现集合平均预报的误差比分辨率为 25 km 的控制试验小,但用集合预报的离散度对预报技巧进行预报的能力比较低。Du 等^[5,6]用 MM4 模式通过在分析场上加任意扰动的方法作定量降水的集合预报,和高分辨率的控制试验相比,预报技巧有提高,而且

* 2001-04-03 收到,2002-07-31 收到修改稿。

90%的提高只需取集合成员为8至10个就可获得。Stensrud等^[7]用MM5模式通过集合预报方法对中尺度对流系统进行模拟,分别采用两种方法——取不同的模式物理过程参数和用蒙特卡罗法构造初始场扰动产生集合成员,结果表明变化模式的物理过程是进行集合预报的一种有效方法。目前国内尚少见这方面的研究工作。

本文将用一个有限域的数值天气预报模式,由选择物理过程的不同参数化方案进行华东地区梅雨期强降水过程的集合预报试验。

1 模式简介

试验模式为PSU/NCAR的中尺度模式系统第5代第2版(MM5 V2-12)^[8]。

模式垂直方向取 σ 坐标,分不等距21层,顶层气压为100 hPa;水平格距取45 km,格点数为113×115,将上海(31.0°N,121.0°E)作为其中心,整个计算区域的范围大致为:10°~50°N,100°~140°E。垂直速度定义在整 σ 层上,其余变量定义在半 σ 层上,水平网格采用Arakawa-Lamb B跳点格式。

模式采用非静力方案,显式水汽方案为简单冰相方案,辐射方案为云辐射方案,地面温度取5层土壤模式,侧边界条件为松弛流入流出方案,模式没有考虑淡积云的作用。与降水密切相关的积云参数化方案和边界层参数化方案采用不同的方案,构成集合预报的集合成员。

2 集合成员构成

1999年华东地区的梅雨过程持续时间长、雨量大,本文选取其中的3段进行预报试验。个例1:1999年6月9日08:00(北京时,下同)~6月11日08:00;个例2:1999年6月15日08:00~6月17日08:00;个例3:1999年6月24日08:00~6月26日08:00。这是3次持续性降水过程,个例1的雨量达到暴雨量级,个例2和个例3则达到了大暴雨的程度。

集合预报由8个预报成员构成,通过改变模式的积云参数化方案和边界层参数化方案形成。具体如表1。

分别利用表1中各种积云参数化和边界层参数化方案的各种组合,加入到模式中去,对3个个例进行48 h降水预报试验,预报起始时间分别为1999年6月9日08:00、1999年6月15日08:00和1999年6月24日08:00。客观分析

使用的初估场为国家气象中心T106L19模式的12 h预报场,实时观测资料包括地面常规资料、探空资料及测风资料。模式积分时间步长为75 s。

表1 集合预报成员的构成

集合成员序号	积云参数化方案	边界层参数化方案
1	Anthes-Kuo	MRF PBL
2	Grell	MRF PBL
3	Kain-Fritsch	MRF PBL
4	Betts-Miller	MRF PBL
5	Anthes-Kuo	Eta PBL
6	Grell	Eta PBL
7	Kain-Fritsch	Eta PBL
8	Betts-Miller	Eta PBL

3 实况降水分布

图1为3个个例的24 h实况雨量分布图。从图中可以看到:个例1降水发生在整个华东地区及其海域,华东北部为局部小雨,前24 h暴雨区位于江苏南部、浙江北部、安徽

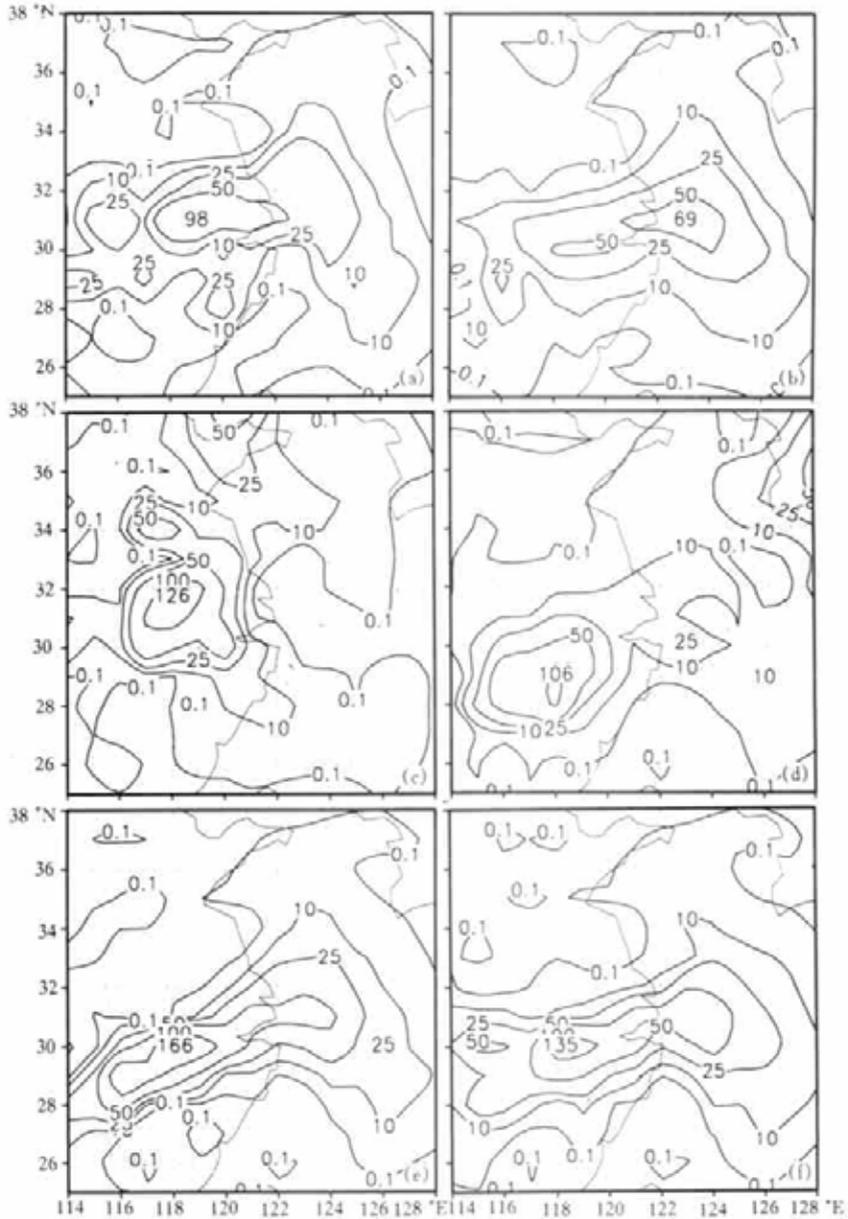


图1 1999年6月份3个暴雨个例08:00 24 h实况雨量分布(mm)

(a) 个例1,9~10日;(b) 个例1,10~11日;(c) 个例2,15~16日;

(d) 个例2,16~17日;(e) 个例3,24~25日;(f) 个例3,25~26日

东部和上海地区,最大雨量为 98 mm,后 24 h 暴雨区分裂为两块,强度减弱。

个例 2,前 24 h 主要雨区位于华东中部和山东东部,安徽大部,江苏西部和浙江北部下了暴雨,其中安徽的中东部和南京一带为一大暴雨区,最大雨量达到 126 mm,后 24 h 主要雨区南移并呈西南—东北状从江西、浙江、福建北部及安徽和江苏南部伸展至海上,暴雨区位于江西东北部和浙江西部,大暴雨区范围减小并南移至浙江西部与江西交界的地区,最大雨量减小为 106 mm。

个例 3,雨区分布与个例 1 相似但雨量更大,暴雨区从江西中北部向东偏北方向延伸至海上,前 24 h 江西北部 and 浙江西北部出现了大暴雨,最大雨量达到 166 mm,后 24 h 江西北部雨量减小,浙江西北部仍维持大暴雨,但最大雨量减小至 135 mm。

4 试验结果

4.1 集合预报的变化性

比较各个例 8 个成员预报的 24 h 雨量分布可以看到,对于相同的个例,不同成员的预报结果各不相同,其中成员 1 和成员 5、成员 2 和成员 6、成员 3 和成员 7 及成员 4 和成员 8 的雨区分布类似,雨量大小不同,有些变化小些,有些差别显著,而且这 4 对成员间雨区分布的变化小于雨量的变化。

图 2 给出了个例 2 中成员 2、6、4 和 8 预报的前 24 h 雨量分布图。从图中可以看到:虽然成员 2 和成员 6 的雨区分布相似,但除了浙江南部和福建东北部的雨量中心位置相同外,另外几个雨量中心的位置都有差异,而且雨量大小也不相同。在成员 2 中,浙江南部和福建东北部的暴雨区中心雨量达到 200 mm,另外几个主要暴雨区分别位于安徽中部、江苏东部及其沿海和上海及其海域,最大雨量为 215 mm。在成员 6 中,浙江南部和福建东北部的暴雨区中心雨量高达 265 mm,另外几个主要暴雨区呈东西向排列,位于安徽中部、江苏南部、上海、杭州湾一带,中心雨量都达到 200 mm。同样成员 4 和成员 8 的雨区分布也相似,但雨量大小有差异,而且它们的雨区分布形势与成员 2 和成员 6 的不同,雨区范围稍大,雨量则小于成员 2 和成员 6 的雨量。

在试验方案中已经知道试验模式的 8 个预报成员通过改变模式的积云参数化方案和边界层参数化方案形成,其中成员 1、2、3、4 的积云参数化方案分别和成员 5、6、7、8 的积云参数化方案相同,所不同的是边界层参数化方案。在预报结果中反映出的成员 1 和成员 5、成员 2 和成员 6、成员 3 和成员 7 及成员 4 和成员 8 之间一定的相似性,说明对于所试验的 3 个个例,积云参数化方案对降水的影响比边界层参数化方案对降水的影响大。

无论个例 1、个例 2 还是个例 3,不同成员间的结果都有一定的差异,其中个例 2 的差异更为显著,说明同样是梅雨降水过程,不同个例对不同积云参数化方案 and 不同边界层参数化方案的反应敏感程度各不相同。

在确定性数值预报中,模式的物理过程参数化方案是确定的,然而数值模式存在误差,包括其中的参数化方案。我们的试验结果表明对于同样的梅雨降水个例,改变模式的积云参数化方案和边界层参数化方案后得到的结果是不同的,而且不同的个例在这种改变后的变化也是不同的,因而进行集合预报是有意义的,也说明通过改变这些方案形成集

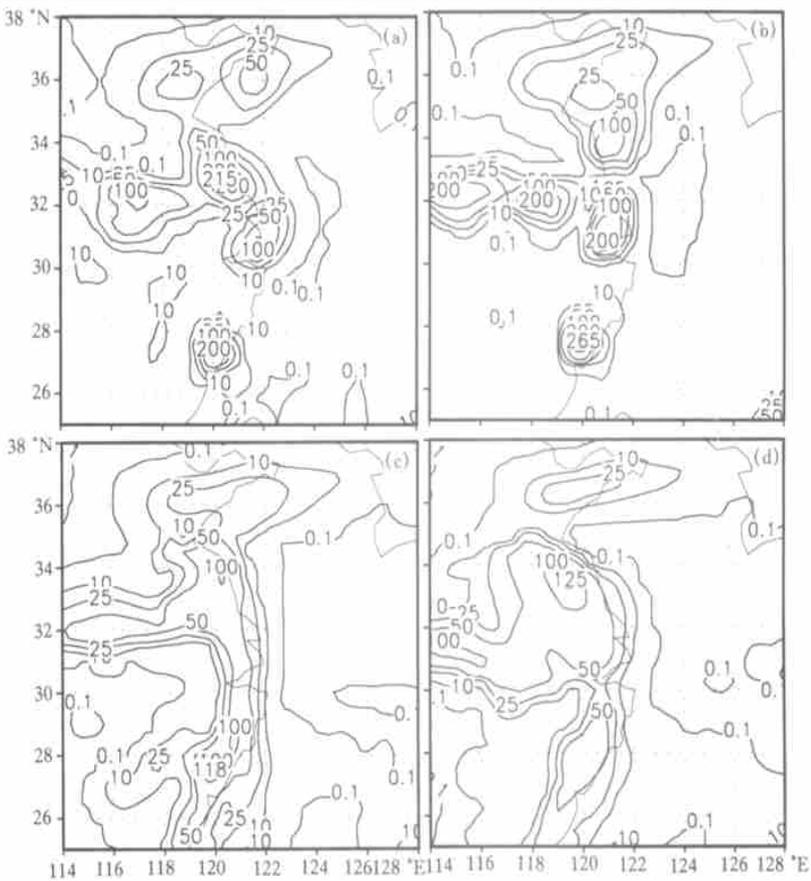


图2 1999年6月个例2的4个成员预报的前24h雨量分布(mm)
 (a)成员2, (b)成员6, (c)成员4, (d)成员8

合预报成员是可行的,它使得不同集合成员间结果具有变化性。

4.2 集合平均预报

为了对集合平均预报的结果进行客观评价,并与各成员的预报结果进行比较,本文对3个个例的集合平均预报结果和各成员预报结果分别计算降水偏差评分(BS)和降水TS评分。降水偏差评分(BS)和降水TS评分都以某一区域内所有有效发报站的降水预报状况作为统计对象,反映的是对整个区域降水的预报效果。计算公式如下:

$$\text{降水偏差评分(BS)} = \frac{\text{预报降水的发报站总数}}{\text{实况发生降水的发报站总数}}$$

$$\text{降水TS评分} = \frac{\text{预报降水实况发生降水的发报站总数}}{(\text{预报降水的发报站总数} + \text{实况发生降水的发报站总数} - \text{预报降水实况发生降水的发报站总数})}$$

显然,TS值在0与1之间,TS为0时预报效果最差,为1时预报效果最好。这里统计的范围与雨量分布图的范围相同,并将降水分成不同量级,分别统计发生各个量级以上降水的预报情况。

3个个例6h发生降水的BS结果显示,8个成员的BS值各不相同,有些时段差异较

小,有些时段差异较大,表明各成员的预报各不相同,这与前面分析的集合预报的变化性是一致的。从BS结果中还可以看到,大部分成员在大部分时段的BS值都大于1,即预报有湿偏差,但量级小的降水的BS值要小于量级大的降水的BS值,即前者的湿偏差程度要小些,而且各成员间降水偏差的变化前者也要小于后者,这些结果与Du等^[6]及Stensrud等^[7]的研究结果是相同的。此外,对于量级小的降水,集合平均后的BS值基本上大于各成员的BS值,预报有偏湿的倾向,对于量级大的降水,集合平均后的BS值则小于各成员的BS值,预报有偏干的趋势。这一结果也是合理的。从前面的分析中知道,不同成

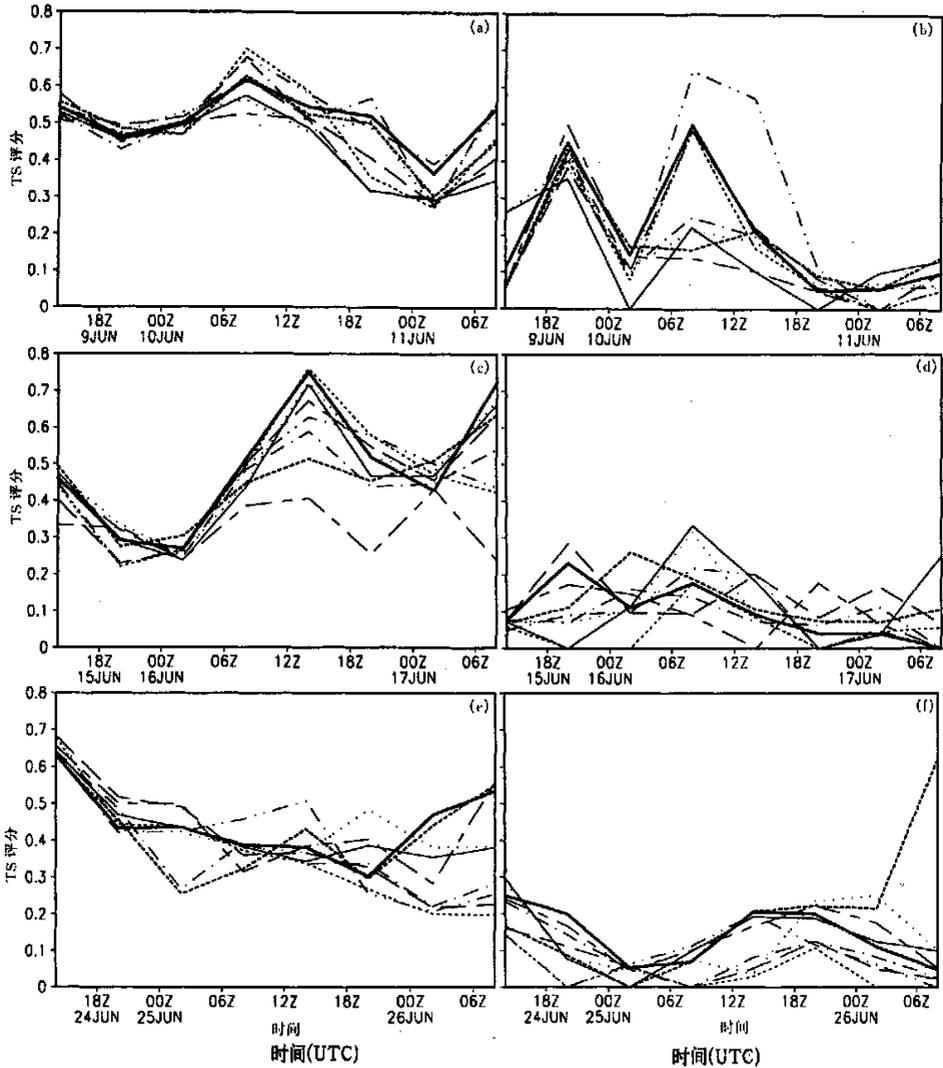


图3 1999年6月3个暴雨个例的6h发生0.1mm以上和10mm以上降水的TS评分(集合平均预报:粗实线 成员1:实线 成员2:长虚线 成员3:短虚线 成员4:长短虚线 成员5:点线 成员6:点虚线 成员7:点点虚线 成员8:粗短虚线)
 (a) 个例1(0.1mm), (b) 个例1(10mm), (c) 个例2(0.1mm),
 (d) 个例2(10mm), (e) 个例3(0.1mm), (f) 个例3(10mm)

员预报的雨区分布和雨量大小都有一定的差异,尤其是暴雨区和大暴雨区的分布,因此进行集合平均后,一部分成员中没有降水的区域有了降水,而一部分成员中量级大的降水区域降水量级减小,因而量级小的降水范围增大,量级大的降水范围减小,表现在集合平均后预报有偏湿和偏干的倾向。

图3为3个个例的6h发生0.1mm以上和10mm以上降水的TS评分图。个例1、个例2和个例3统计区域内有效发报站总数分别为101、98和98。从图中可以看到:各成员对0.1mm以上降水的预报效果好于对10mm以上降水的预报效果,而对25mm以上降水的预报效果则更差些(图略)。对相同量级的降水,各成员在相同时段的预报效果各不相同,有些还差异显著,同样的成员在不同时段的预报效果也各不相同。对同样是梅雨降水过程的3个个例,预报效果相对较好的成员是不同的。个例1中成员7的预报效果较好,个例2中对0.1mm以上、10mm以上和25mm以上降水预报效果较好的分别是成员5、成员8和成员6,个例3中对0.1mm以上降水各成员的总体预报效果相差不多,对10mm以上和25mm以上降水预报效果相对较好的是成员8和成员4。除个别时段外,集合平均后的预报效果在多数时段并不好于所有成员的预报效果,其预报效果在部分时段好于大部分成员的预报效果,在部分时段则比一部分成员的预报效果差。

虽然集合平均后的预报效果并不优于所有成员,但所有成员中预报效果相对较好的成员的预报效果在多数时段也不优于集合平均,即没有一个成员的预报效果在多数时段都优于集合平均,何况对不同个例,有时对不同量级的降水,预报效果相对较好的成员是不同的。因而通过集合平均可以得到一个比较稳定的预报结果,避免同样的成员对不同个例甚至不同量级降水预报的较大变化性。

然而将3个个例的24h集合平均预报的雨量分布(图略)和实况雨量分布比较可以发现,虽然集合平均后的预报效果比较稳定,但其预报的雨区位置、范围大小和雨量大小与实况仍有一定的差异,初始场的误差和模式的不准确性都可能是造成这种差异的原因。

4.3 降水概率预报

从集合预报中能得到客观化和定量化的概率预报,这在单一的模式预报中是无法做到的。图4为集合预报的3个个例的24h降水概率分布图。图中0.1、0.3、0.5、0.7和0.9分别代表10%、30%、50%、70%和90%概率。将图4和实况雨量分布图比较可以看到:在个例1后24h中,集合预报的发生0.1mm以上降水概率在90%以上的区域实况基本上都有降水,概率预报还显示浙江中北部发生暴雨的概率较大,而实况证实这一地区的降水量至少达到了大雨程度,部分地区达到了暴雨量级。图4(c)显示个例2前24h发生大暴雨的概率较低,在10%~30%,范围也很小,分布零散,而集合平均预报的最大雨量为89mm,没有出现大暴雨,概率预报的结果则提示在部分区域仍有发生大暴雨的可能,虽然这种可能性比较低,事实上安徽中东部出现了大暴雨,最大雨量达到126mm,而这一区域包含在概率预报的可能发生大暴雨的范围内。图4(d)显示的个例3后24h发生大暴雨的概率在50%以上的区域与集合平均预报的大暴雨区一致,但与实况有差异,实况大暴雨发生在浙江西北部,该区域位于10%概率区边缘,集合平均预报没有预报出的大暴雨区在概率预报中有所反映,只是概率偏小。

这里概率预报的结果尽管与实况有较大差异,如个例2前24h除安徽中东部外,其

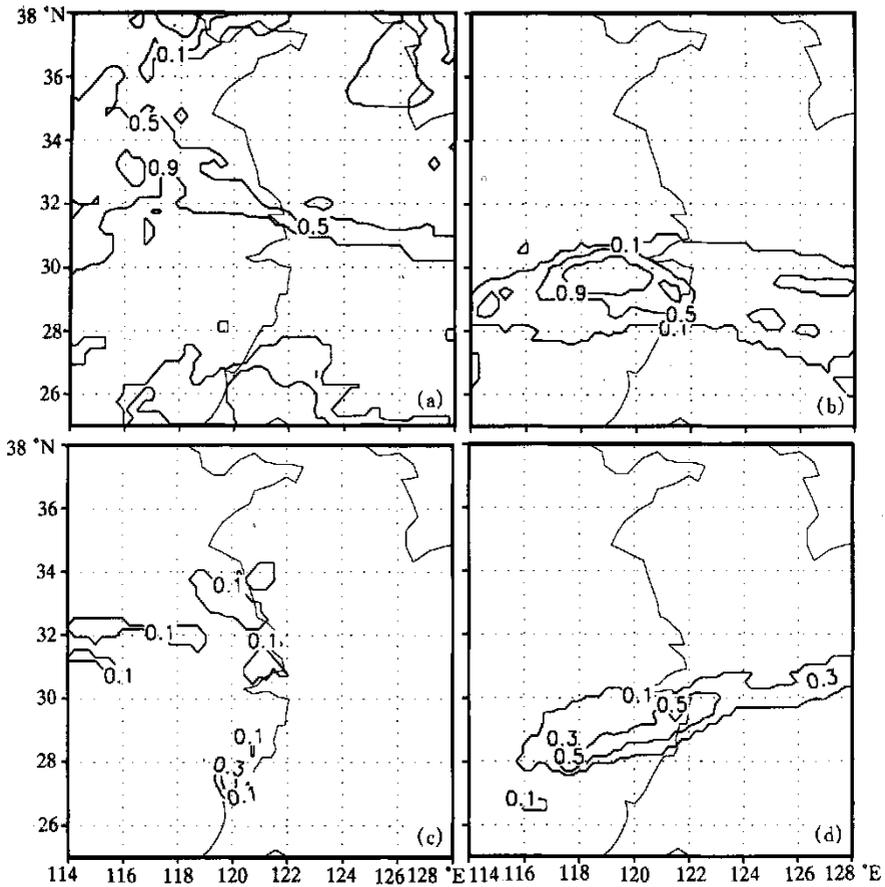


图4 集合预报的1999年6月3个暴雨个例08:00的24h降水概率分布

- (a) 个例1(10~11日),降水量大于0.1 mm;(b) 个例1(10~11日),降水量大于50 mm;
 (c) 个例2(15~16日),降水量大于100 mm;(d) 个例3(25~26日),降水量大于100 mm

余预报可能出现大暴雨的区域实况都没有发生大暴雨,有些雨量还很小,个例3后24h实况大暴雨出现在小概率区内,但概率预报的结果仍能给我们提供有用信息,对可能发生的现象发出信号。

5 结论

以MMS模式作为试验模式框架,通过选择模式的积云参数化方案和边界层参数化方案产生8个集合成员,对1999年华东地区梅雨期间3个降水个例进行了集合预报试验。结果表明:

(1) 不同集合成员对降水的预报结果各不相同,积云参数化方案对降水的影响比边界层参数化方案对降水的影响大。不同个例对不同积云参数化方案 and 不同边界层参数化方案的反应敏感程度也各不相同。

(2) 不同集合成员预报降水的偏差各不相同,但大多存在湿偏差。量级小的降水的湿偏差程度比量级大的降水的湿偏差程度要小些,但集合平均后前者的湿偏差程度增大,后者的湿偏差程度则减小。

(3) 各集合成员对量级小的降水的预报效果好于对量级大的降水的预报效果。对于不同个例,各成员中预报效果相对较好的成员各不相同,集合平均后可以得到一个比较稳定的预报结果。

(4) 从集合预报结果中能得到客观化和量化的降水概率预报,它能对可能发生的天气现象发出信号。

本文试验考虑了模式的不确定性,但没有包含初始场的扰动,在模式的不确定性中仅考虑了物理过程参数化中的积云参数化方案和边界层参数化方案的变化,所取的成员总数为 8 个,并且采用了简单的成员预报结果的平均作为集合预报结果。然而在试验中发现,集合平均后的预报效果虽然在多数时段并不好于所有成员,但也没有一个成员的预报效果在多数时段都好于集合平均。而对同样是梅雨降水过程的 3 个个例,预报效果相对较好的积云参数化方案和边界层参数化方案却是不同的。通过集合平均可以避免同样的方案对不同个例甚至不同量级降水预报的不稳定性,得到一个比较稳定的预报结果。从集合预报结果中还能得到比单一的模式预报结果丰富的信息。

当然上述结论只是针对所试验的 3 个梅雨降水个例的,其它类型降水过程及其它梅雨降水个例的结果如何需要继续试验。本文进行的试验只是短期集合预报方面的初步工作,得到的结果是令人鼓舞的。

参 考 文 献

- 1 Brooks H E, Stensrud D J, Doswell C A. Application of short-range NWP model ensembles to severe storm forecasting. Preprints, 18th Conf. Severe Local Storm, San Francisco, Amer. Meteor. Soc., 1995.
- 2 Brooks H E, Cortinas J V, Janish P R, et al. Application of short-range numerical ensembles to the forecasting of hazardous winter weather. Preprints, 11th Conf. on Numerical Weather Prediction, Norfolk, Amer. Meteor. Soc., 1996. 70 ~ 71.
- 3 Hamill T M, Colucci S J. Eta/RS M ensemble usefulness for short-range forecasting. Preprints, 11th Conf. on Numerical Weather Prediction, Norfolk, Amer. Meteor. Soc., 1996. 43 ~ 45.
- 4 Hamill T M, Colucci S J. Verification of Eta/RS M short-range ensemble forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 1312 ~ 1327.
- 5 Du J, Mullen S L, Sanders F. Short-range ensemble forecasting of quantitative precipitation. Preprints, 11th Conf. on Numerical Weather Prediction, Norfolk, Amer. Meteor. Soc., 1996. 46 ~ 49.
- 6 Du J, Mullen S L, Sanders F. Short-range ensemble forecasting (SREF) of quantitative precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 2427 ~ 2459.
- 7 Stensrud D J, Bao J W, Warner T T. Using initial condition and model physics perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems. *Mon. Wea. Rev.*, 2000, **128**: 2077 ~ 2107.
- 8 Mesoscale and Microscale Meteorology Division. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 2. NCAR Technical Note, June 1999.

EXPERIMENT AND RESEARCH OF SHORT-RANGE ENSEMBLE FORECASTING TECHNIQUES IN FORECASTING MEIYU PRECIPITATION

Wang Chenxi Duan Yihong
(*Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030*)

Abstract

Numerical weather prediction errors come from the initial conditions and model errors. Ensemble forecasting technique is an effective way to diminish the errors. Short-range ensemble forecasting experiments are made for three precipitation cases during the 1999 Meiyu period in the East China area. The MM5 model is used as the experimental model configuration. Eight ensemble members are created by choosing four kinds of cumulus parameterization schemes and two kinds of PBL parameterization schemes. The four kinds of cumulus parameterization schemes are Anthes-Kuo, Grell, Kain-Fritsch and Betts-Miller schemes. The two kinds of PBL parameterization schemes are MRF and Eta schemes.

The results indicate that different ensemble members have different forecasting results. For the precipitation forecasting results, the influence of cumulus parameterization scheme is larger than the influence of the PBL parameterization scheme. For the bias score, most ensemble members have a "wet" bias. The bias score is larger for large precipitation than that for small precipitation. The effects of ensemble averaging increase the bias score for small precipitation and reduce the bias score for large precipitation. For different cases, the member who has the best precipitation forecasting results is not the same one. After ensemble averaging, stable precipitation forecasting results can be gotten. Also the objective and quantitative precipitation probability forecasts can be obtained from the ensemble forecasting.

Key words: Ensemble forecasting Meiyu Precipitation